

연료전지 다공성막을 통한 수분증발량의 정량적 측정에 관한 실험적 연구

김종록* · 김무환** · 손상영*†

* 신시네티대학교 기계공학과, ** 포항공과대학교 첨단원자력공학부

Development of System for Measuring Evaporation Rate through Porous Medium in Fuel Cells

Jongrok Kim*, Moo Hwan Kim** and Sang Young Son*†

* School of Dynamic Systems, University of Cincinnati, US

** Division of Advanced of Nuclear Engineering, POSTECH

(Received October 17, 2011 ; Revised March 2, 2012 ; Accepted March 6, 2012)

Key Words: Porous Medium(다공성막), Gas Diffusion Layer(가스확산층), Fuel Cell(연료전지), Evaporation(증발), Water(물)

초록: 연료전지 시스템에서 잔류 수분의 제거과정은 연료전지의 성능 및 수명 관리를 위해 중요한 과정이다. 효과적인 수분 제거과정의 설계를 위해서는 연료전지내의 수분 제거 특성에 대한 이해가 필수적이다. 이를 위해 본 연구에서는 연료전지의 다공성막인 가스확산층을 통한 수분증발량을 정상상태에서 측정하는 실험 기법을 개발하였다. 이 기법을 이용하여 연료전지의 잔류수분 제거 현상을 모사하는 실험장치를 개발하였다. 그리고 건조가스와 가스확산층의 변수가 수분에 미치는 영향을 실험적으로 측정하였다. 건조가스의 습도가 낮고, 유량이 높을수록 가스확산층을 통해 증발되는 수분량이 높았다. 또한 가스확산층의 두께가 얇을수록 수분 증발량이 높은 특성을 확인하였다.

Abstract: Removing residual water in a fuel cell is a critical operational process for managing its performance and controlling its lifetime. Understanding the mechanism of water transport in fuel cells is essential for the design of the water removal process. In this study, an experimental method for measuring the water evaporation rate through a gas diffusion layer, which is a porous medium, under steady-state conditions was developed. Experimental bench tests were conducted to apply the developed method. Then, the effects of various parameters of the drying gas and the gas diffusion layer were experimentally measured. The water evaporation rate increased as the humidity of the drying gas decreased and the flow rate of the drying gas increased. In addition, a thinner gas diffusion layer yielded a higher water evaporation rate.

1. 서론

저온형 연료전지의 하나인 고분자 전해질 연료전지(PEM fuel cell)는 전해질의 이온전도성을 확보하기 위해 일정량 이상의 수분을 필요로 한다.⁽¹⁾ 이 수분은 운전 중 화학반응을 통해 물이 생성되어 공급되기도 하고, 연료와 함께 공급되기도 한다. 하지만, 겨울철과 같이 주변 온도가 물의 어는점 이하인 환경에서 연료전지가 정지하게 되면 연료전지 내부에 잔류하는 물이 얼게 된다. 물이

얼음으로 변하는 과정에서 물의 부피가 팽창하게 되며, 물의 부피 팽창은 연료전지 내부 구성품의 구조를 변형시키면서⁽²⁾ 연료전지의 성능 저하 및 수명 감소를 발생시킨다. 그래서 연료전지 시스템은 운전 종료 후, 연료전지내의 잔류 수분 제거과정 거치게 되며, 이와 관련된 연구들이 진행되고 있다. 연료전지 분리판의 유로에 잔류하는 수분은 압축가스로 쉽게 제거가 되지만, 가스확산층(Gas diffusion layer, GDL) 및 전해질막에 잔존하는 수분은 쉽게 제거 되지 않는 특성을 보인다.⁽³⁾ 따라서, 가스확산층 및 전해질막의 잔존 수분을 제거하는 방법의 하나로 건조한 가스를 장

† Corresponding Author, sangyoung.son@uc.edu

시간 주입하는 방법이 이용되고 있다. 건조 가스의 주입을 통한 가스확산층의 수분 제거 특성을 실험적으로 연구하기 위해 가스확산층 내부의 수분량을 연속적으로 측정하는 방법,⁽⁴⁾ 고주파 저항 측정법(high-frequency resistance, HFR),⁽⁵⁻⁹⁾ 중성자 가시화기법,⁽¹⁰⁻¹²⁾ X-선 가시화기법 등이 적용되고 있다. 기존의 측정법은 시간별로 잔류 수분의 양을 측정하여 수분 제거량을 계산하는 방법으로 비정상 현상만 측정할 수 있는 한계를 갖고 있다.

정상상태에서 수분 제거량을 정량적으로 측정하면, 이 데이터를 바탕으로 특정 조건하의 순간 증발량을 예측할 수 있는 모델 개발이 가능하게 된다. 이를 통해 다양한 시작 조건 하에서 증발 현상 예측을 수행할 수 있으므로, 수분 제거 과정을 디자인하는데 효과적으로 접근할 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 가스확산층을 통하여 제거되는 수분량을 정상상태에서 정량적으로 측정할 수 있는 실험 기법을 개발하고, 가스확산층의 두께·건조가스의 습도·유량 등의 변수가 증발량에 미치는 영향을 실험적으로 관찰하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험장치

전해질막의 수분은 증발되어 기체상태로 가스확산층을 통해 제거되는데, 이를 모사하기 위해 Fig. 1과 같이 단순화된 실험부를 설계하였다.

정상상태에서 수분 증발량을 측정하기 위해서는 가스확산층 아래 부분(전해질막)의 수분량을 일정하게 유지하는 것이 중요하다. 이를 위해 전해질막을 대신해 친수성막을 설치하였다. 실험과정동안 증발된 수분은 친수성막의 표면장력에 의해 제거된 수분량 만큼 자동 공급되어 수분상태

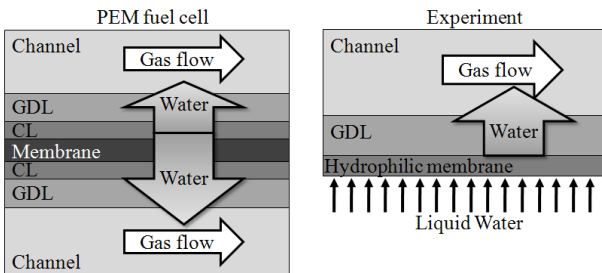


Fig. 1 Schematic diagram of a unit PEM fuel cell and experimental method

를 유지할 수 있다. 또한 해석의 단순화를 위해 연료전지의 한쪽부분만 모사하였다. 연료전지의 분리판을 모사하기 위해 PDMS로 제작된 단일사형유로를 이용하였다.(Fig. 2) 유로의 단면은 가로세로 각 2.03mm이고, 유로의 길이는 258mm이다.

친수성막에 공급되는 물은 전자저울(Cole Parmer Symmetry PR410) 위에 있는 물탱크로부터 공급되며, 별도의 공급장치 없이 친수성막의 표면장력에 의해서만 공급된다. 공급된 물이 가스확산층 내부로 범람하는 것을 방지하기 위해 물탱크의 수위는 친수성막보다 낮게 유지하였다. 물탱크로부터 소모된 물의 양은 실험부에서 증발, 제거된 물의 양과 동일하며 전자저울을 통해 측정된 물탱크의 무게변화로부터 측정하였다. Fig. 4는 실험중 물탱크의 무게 변화를 보여주고 있고, 실험부를 통해 제거되는 물의 양이 정상상태에 있는 것을 확인할 수 있다. 질소가스를 건조가스로 공급하였으며, 건조가스 상대습도의 영향을 관찰하기 위해 질소가스의 상대습도를 고(약 75%), 중(약 60%), 저(약 40%)로 조절하였다. Fig. 3과 같이 질소가스가 증류수와 접촉하는 조건을 달리하는 방법을 통해 상대습도를 조절하

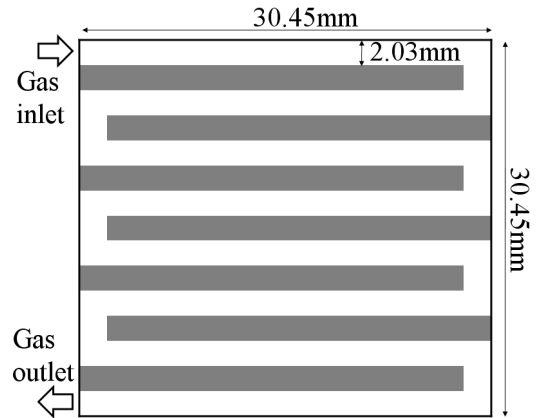


Fig. 2 PDMS channel

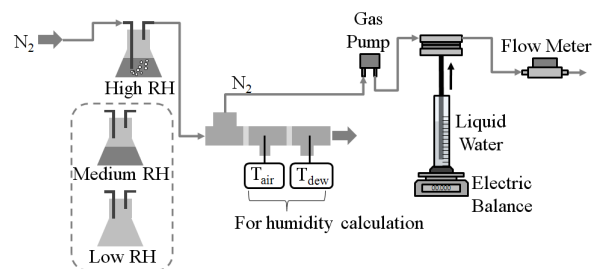


Fig. 3 Experimental facilities

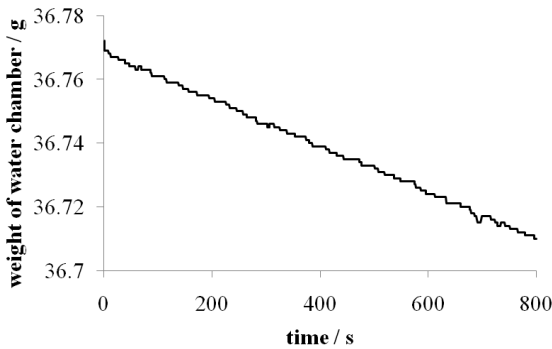


Fig. 4 Weight of water chamber for experiment with TGPH090, Gas RH 78%

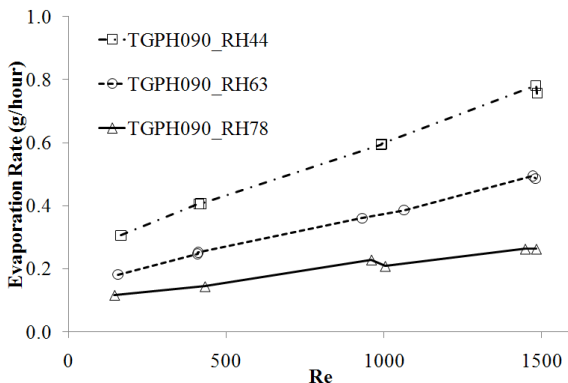


Fig. 5 Evaporation rate for TGPH090, Gas RH 44~78

였다. 질소가스의 상대습도는 건,습구 온도계를 통해 측정하였고, 유량은 mass flow meter (YAMATAKE CMS0005)를 이용해 측정하였다.

2.2 변수에 따른 증발량 변화

2.2.1 건조가스의 상대 습도와 유량

동일 가스확산층(Toray TGPH-090)에 대해 건조가스의 상대습도와 유량에 따른 수분 증발량을 측정하였다(Fig. 5). 질소가스의 유량은 유로내에서의 Reynolds 수로 나타내었으며, 실험장치의 불확실성 계산을 통한 수분 증발량의 불확실성은 1% 이내였다. 건조가스의 습도가 낮고, 유속이 빠를수록 수분 증발량이 증가하였다. 각 변수의 영향은 다음과 같이 해석할 수 있다. 저습도의 건조가스는 가스확산층 양면의 수분 농도차이를 높여서 수분의 확산을 유도하여 증발량을 높게 된다. 건조가스가 유로를 흐르면서 가스확산층을 통해 전달된 수분을 포함하게 되므로, 유로를 통과하는 동안 습도가 지속적으로 높아지게 된다.

Table 1 Gas diffusion layer properties

	Porosity %	Thickness μm	Gas permeability ml mm / cm ² hr mmAq
TGPH-030	80	110	2500
TGPH-060	78	190	1900
TGPH-090	78	280	1700

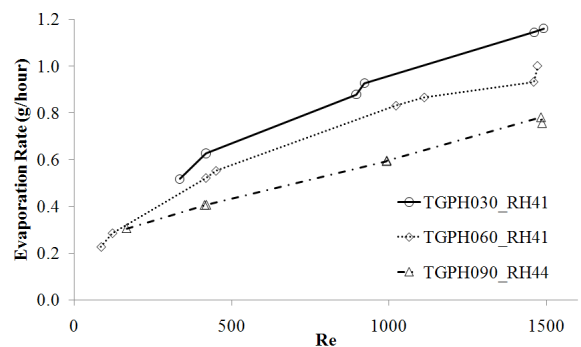


Fig. 6 Evaporation rate for different GDL thickness : 280 μm (TGPH090), 190 μm (TGPH060), 110 μm (TGPH030)

그리고 높아진 습도는 앞서 언급한 원리에 따라서 국부영역에서 수분 증발량을 낮추게 된다. 건조가스의 유속이 높을 경우, 가스가 유로를 통과하는 시간이 짧아져 단위부피당 흡수하는 수분이 적게 된다. 따라서, 유로 전체의 평균 습도는 낮게 유지되면서 시스템의 수분 증발량이 높게 유지된다.

2.2.2 가스확산층의 두께

동일한 건조가스 조건에서 가스확산층의 두께가 수분 증발량에 미치는 영향을 측정하였다(Fig. 6). 사용된 가스확산층의 다공성(porosity)과 두께는 Table 1과 같다. 2% 다공성 차이가 있지만 구조적으로 동일하다고 가정할 수 있으며, 세 시편의 실험 결과로부터 두께의 영향을 파악할 수 있다. Fig. 6과 같이 두께가 두꺼울수록 수분 증발량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 가스확산층이 두꺼울수록 증발된 수분 분자가 이동하는데 저항이 커져 확산현상이 줄어들기 때문이다. 물질전달현상에 미치는 두께의 영향은 각 가스확산층의 가스 투과도(Gas permeability)가 두께

에 반비례하는 것을 통해서도 확인 가능하다.

3. 결 론

본 연구에서는 가스확산층을 통한 수분증발량을 정상상태에서 정량적 측정할 수 있는 기법을 개발하고, 이를 이용하여 수분 배출을 위해 주입되는 건조가스의 습도와 유량, 그리고 가스확산층의 두께가 수분증발량에 미치는 영향을 실험적으로 측정하였다.

개발된 수분증발량 측정 기법을 통해 가스확산층을 통해 증발되어 배출되는 수분량을 정상상태에서 정량적으로 측정하였고, 실험 조건에 따른 증발량의 변화에 대해 타당한 측정 결과를 보였다. 현재 연구 결과는 실험 변수에 대한 정성적 측정 결과를 나타내고 있으나, 추가 연구를 통해 실험 변수와 수분 증발량의 관계를 정량적으로 밝히고 증발량 예측 모델을 개발할 계획이다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 과학기술국제화사업연구(M60602000005-06E0200-00410)와 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 세계수준의 연구중심대학육성사업(WCU)으로부터 지원받아 수행되었습니다.(R31 - 30005)

참고문헌

- (1) Hwang, G.S., Kaviani, M., Nam, J.H., Kim, M.H. and Son, S.Y., 2009, "Pore-Water Morphological Transitions in Polymer Electrolyte of a Fuel Cell," *Journal of The Electrochemical Society*, Vol. 156, No. 10, pp.B1192~B1200.
- (2) Je, J., Kim, J., Kaviani, M., Son, S.Y. and Kim, M.H., 2011, "X-Ray Tomography of Morphological Changes After Freeze/Thaw in Gas Diffusion Layers," *Journal of Synchrotron Radiation*, Vol. 18, pp. 743~746.
- (3) Kim, T.J., Kim, J., Sim, C.M., Lee, S., Son, Y. and Kim, M.H., 2009, "Experimental Approaches For Water Discharge Characteristics in PEMFC Using Neutron Imaging Technique at CONRAD, HMI, Nuclear Engineering and Technology," *Nuclear Engineering And Technology*, Vol. 41, No. 1, pp. 135~142.
- (4) Cho, K.T. and Mench, M.M., 2010, "Fundamental Characterization of Evaporative Water Removal from Fuel Cell Diffusion Media," *Journal of Power Sources*, Vol. 195, pp. 3858~3869.
- (5) Ge, S. and Wang, C.-Y., 2007, "Fundamental Characterization of Evaporative Water Removal From Fuel Cell Diffusion Media," *Electrochimica Acta*, Vol. 52, pp. 4825~4835.
- (6) Tajiri, K., Wang, C.-Y. and Tabuchi, Y., 2008, "Water Removal from a PEFC During Gas Purge," *Electrochimica Acta*, Vol. 53, pp. 6337~6343.
- (7) Sinha, P.K. and Wang, C.-Y., 2007, "Gas Purge in a Polymer Electrolyte Fuel Cell," *Journal Of The Electrochemical Society*, Vol. 154, pp. B1158~B1166.
- (8) Sinha, P.K. and Wang, C.-Y., 2008, "Two-Phase Modeling of Gas Purge in a Polymer Electrolyte Fuel Cell," *Journal of Power Sources*, Vol. 183, pp. 609~618.
- (9) Ito, H., Maeda, T., Kato, A., Yoshida, T. and Ulleberg, O., 2010, "Gas Purge for Switching from Electrolysis to Fuel Cell Operation in Polymer Electrolyte Unitized Reversible Fuel Cells," *Journal of The Electrochemical Society*, Vol. 157, pp. B1072~B1080.
- (10) Kim, T., Sim, C. and Kim, M.H., 2008, "Research on Water Discharge Characteristics of PEM Fuel Cells by Using Neutron Imaging Technology at the NRF, HANARO," *Applied Radiation and Isotopes*, Vol. 66, pp. 593~605.
- (11) Kim, T.J., Jung, Y.M., Kim, M.H., Arif, M., Sim, C.M., Lee, S.W. and Jeon, J.S., 2004, "Feasibility Test for 2-Phase Flow Visualization at the PEMFC Using the Neutron Radiography Image Technology," *KSME 2004 Fall Conference*, pp. 1658~1663.
- (12) Kim, T.J., Kim, J., Kim, M.H. and Sim, C.M., 2007, "Experimental Approach for Water Discharge Characteristics at PEMFC by Using Neutron Imaging Technique Considered Neutron Flux and Linear Attenuation Coefficient of Thermal Neutron Correction at NRF, HANARO," *KSME 2007 spring conference B*, pp. 3418~3422.